饲粮中添加不同硒源对产蛋鸡生产性能和抗氧化能力的影响

孙庆艳　武书庚　张海军　岳洪源　王　晶　齐广海*

(中国农业科学院饲料研究所，农业部饲料生物技术重点开放实验室，生物饲料开发国家工程研究中心，北京 100081)

摘　要：本试验研究了饲粮中添加亚硒酸钠、酵母硒、蛋氨酸硒和纳米硒对产蛋鸡生产性能、鸡蛋品质、血浆抗氧化能力和鸡蛋硒含量的影响，旨在为产蛋鸡饲粮中硒的合理使用提供理论依据。选取 18 周龄健康、产蛋率相近的海兰灰产蛋鸡 540 只，随机分为 5 组，每组 6 个重复，每个重复 18 只。对照组饲喂不添加硒的基础饲粮（总硒含量 0.08 mg/kg），其他 4 组添加 0.30 mg/kg 硒，分别来自亚硒酸钠、酵母硒、蛋氨酸硒和纳米硒（实测饲粮硒含量分别为 0.37、0.38、0.34 和 0.41 mg/kg）。试验预试期 1 周、正试期 8 周。结果表明：1）不同硒源对产蛋鸡的生产性能和蛋品质均无显著影响（$P>0.05$)。2）与对照组相比，饲粮中添加 0.30 mg/kg 4 种硒均显著提高了血浆谷胱甘肽过氧化物酶（GSH-Px）活性（$P<0.05$）。试验 4 周末，纳米硒组 GSH-Px 活性最高；8 周末，酵母硒组和纳米硒组 GSH-Px 活性较高。与对照组相比，饲粮中添加 4 种硒源均能够提高血浆总抗氧化能力（T-AOC），且纳米硒组在 4 周末和 8 周末均显著高于其他各组（$P<0.05$）。4 种硒源对血浆超氧化物歧化酶（SOD）活性和丙二醛（MDA）含量均无显著影响（$P>0.05$）。3）与对照组相比，基础饲粮中添加 4 种硒源均可显著提高鸡蛋中硒含量（$P<0.05$），其中酵母硒组显著高于其他 3 组（$P<0.05$）。由此可见，基础饲粮中添加 4 种硒源对产蛋鸡生产性能和鸡蛋品质无显著影响；4 种硒源均可显著提高血浆 GSH-Px 活性和 T-AOC，且酵母硒和纳米硒效果更好；与亚硒酸钠、蛋氨酸硒和纳米硒相比，酵母硒在增加鸡蛋硒含量方面更加有效。

关键词：硒源；蛋鸡；抗氧化能力；鸡蛋硒含量

中图分类号：S831.5　　文献标识码：A　　文章编码：1006-267X(2016)00-0000-00

硒是一种动物和人体必需的微量元素，作为谷胱甘肽过氧化物酶（glutathione peroxidase，GSH-Px）活性中心的组成部分，能通过调节体内的氧化还原状态和内分泌系统，提高免疫力，改善机体健康状况[1]。甲状腺素 5′－脱碘酶也是一种含硒酶，硒在调节甲状腺

收稿日期：2015－11－23

基金项目：现代农业产业技术体系（CARS-41-K13）；家禽产业技术体系北京市创新团队（CARS-PSTP）；国家科技支撑计划（2011BAD26B03）

作者简介：孙庆艳（1989－），女，山东日照人，硕士研究生，从事单胃动物营养研究。E-mail: sqyxfys@sina.com

*通信作者：齐广海，研究员，博士生导师，E-mail: guanghai_qi@163.com

激素代谢方面也发挥重要作用[2]。硒在机体内以含硒蛋白形式发挥生理功能，新近研究表明含硒蛋白质有 25 种，他们在减慢和防止氧化损害方面至关重要[3]。硒的分布具有明显的地域性，饲粮中的硒含量变化较大，实际生产中，常以亚硒酸钠补充，但其毒性高、生物利用率低。随着越来越多的含硒酶及相应生物功能的发现，消费者对富硒食品的热衷度也持续上升。富硒鸡蛋是良好的补硒食品，开发利用既能维持机体健康又能在鸡蛋中高效沉积的硒源早已成为近年来的研究热点。目前市场上的硒源除了亚硒酸钠以外，还有酵母硒、蛋氨酸硒、纳米硒以及富硒植物等。饲粮中添加 0.30 mg/kg 分别来自亚硒酸钠和酵母硒的硒，未见影响蛋鸡的生产性能和蛋品质，但酵母硒组鸡蛋硒含量高于亚硒酸钠组[4]；*L*－蛋氨酸硒在鸡蛋中的沉积效率高于酵母硒和亚硒酸钠[5]；酵母硒和纳米硒能改善鹌鹑的生产性能、改善蛋品质、提高蛋硒含量，且纳米硒效果更好[6]。酵母硒和富硒苜蓿均能改善蛋鸡生产性能，酵母硒在鸡蛋中沉积的效率更高[7]。研究表明，常见硒源均能有效提高蛋硒含量，但对生产性能和蛋品质的影响报道不一，且纳米硒在蛋鸡应用上缺乏系统的研究。因此，本研究在消除蛋鸡品种、日龄、营养水平等差异的情况下，研究酵母硒、蛋氨酸硒、纳米硒和亚硒酸钠对蛋鸡生产性能、蛋品质、血浆抗氧化能力和鸡蛋硒含量的影响，以便为蛋鸡饲粮中硒的合理使用提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　试验材料与动物

试验用硒源见表 1。试验动物为 18 周龄体况良好、产蛋率接近的海兰灰蛋鸡。

表 1　试验用硒源情况

Table 1　Selenium sources used in the experiment

硒源 Selenium sources	性状 Character	硒含量 Selenium content	实测值 Measured value/(g/kg)	来源 Source
亚硒酸钠 Sodium selenite	白色粉末	≥45%	456.00	黄骅市津骅添加剂有限公司
酵母硒 Selenium yeast	淡黄棕色	≥2.00 g/kg	2.11	湖北安琪酵母股份有限公司
蛋氨酸硒 Selenium methionine	白色粉末	≥2.00 g/kg	2.16	中山市科佳力饲料发展有限公司
纳米硒 Nano-selenium	白色粉末	0.20 g/kg	0.22	上海四通纳米技术港有限公司

1.2　试验设计

试验选用 18 周龄体况良好、产蛋率接近的海兰灰蛋鸡 540 只，随机分为 5 组，每组 6 个重复，每个重复 18 只。对照组饲喂基础饲粮（不额外补充硒），另外 4 组饲喂在基础饲粮中添加 0.30 mg/kg 硒（分别来自亚硒酸钠、酵母硒、蛋氨酸硒和纳米硒）的饲粮，饲粮中硒含量分别为 0.08、0.37、0.38、0.34 和 0.41 mg/kg。

1.3　试验饲粮与饲养管理

参照 NRC（1994）配制基础饲粮，基础饲粮组成及营养水平见表 2。试验鸡采用 4 层立体笼养，每笼 3 只，鸡只自由采食和饮水，自然光照加人工补光（16 h/d），相对湿度 50%～60%，自然通风结合纵向负压通风；每天清粪 2 次，每周带鸡消毒 1 次，常规防疫和免疫。预试期 1 周，正试期 8 周。

表 2　基础饲粮组成及营养水平（风干基础）

Table 2　Composition and nutrient levels of the basal diet (air-dry basis)　　　%

项目 Items	含量 Content
原料 Ingredients	
玉米 Corn	61.22
豆粕 Soybean meal	27.70
豆油 Soybean oil	0.60
石粉 Limestone	8.70
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	1.00
食盐 NaCl	0.30
DL－蛋氨酸 *DL*-methionine（98%）	0.11
维生素矿物质预混料 Vitamin and mineral premix1)	0.32
植酸酶 Phytase(5 000 U/g)	0.05
合计 Total	100.00
营养水平 Nutrient levels2)	
代谢能 ME(MJ/kg)	11.09
粗蛋白质 CP	16.70
钙 Ca	3.35
非植酸磷 Non-phytate phosphorous	0.50

赖氨酸 Lys	0.82
蛋氨酸 Met	0.38

1)预混料为每千克饲粮提供 The premix provided the following per kg of diet：VA 12 500 IU，VD_3 4 125 IU，VE 15 IU，VK 2 mg，硫胺素 thiamine 1 mg，核黄素 riboflavin 8.5 mg，泛酸钙 calcium pantothenate 50 mg，烟酸 nicotinic acid 32.5 mg，吡哆醇 pyridoxine 8 mg，VB_{12} 5 mg，生物素 biotin 2 mg，胆碱 choline 0.92 mg，Fe 60 mg，Cu 8 mg，Zn 66 mg，Mn 65 mg，I 1 mg。

2)代谢能和非植酸磷为计算值，其余均为实测值。ME and non-phytate phosphorous were calculated values, while the others were measured values.

1.4 测定指标和方法

1.4.1 生产性能

每天 09：00 收蛋，以重复为单位记录蛋重、产蛋数、软破蛋及异形蛋数，计算平均蛋重、平均日产蛋量和产蛋率。每周定时结料、称重，以重复为单位计算平均日采食量和料蛋比。

1.4.2 蛋品质

试验期第 8 周末，每个重复取 5 枚蛋，测定蛋品质。采用 SONOVA 蛋品质自动分析仪（Egg Analyzer^{TM}，Orka Technology Ltd.）测定鸡蛋浓蛋白高度、哈氏单位和蛋黄颜色；蛋壳强度分析仪（Egg Force Reader，Orka Technology Ltd.）测定蛋壳强度；蛋壳厚度测定仪（Egg Shell Thickness Gauge，Orka Technology Ltd.）测定蛋壳厚度。蛋形指数测定仪（Egg index reader，Fujihira Industry Co., Ltd.）测量蛋形指数。蛋成分分析：称取全蛋和蛋壳重，分蛋器分离蛋黄蛋清，称重，统计蛋壳、蛋清和蛋黄比重。

1.4.3 抗氧化能力测定

试验期第 4 周末和第 8 周末早上，每个重复随机挑选 1 只鸡，空腹翅静脉采血，3 600 r/min 离心 10 min 制备血浆，分装，－20 ℃贮存。黄嘌呤氧化酶法测定血浆中超氧化物歧化酶（SOD）活性，硫代巴比妥酸法测定丙二醛（MDA）含量，比色法测定 GSH-Px 活性和总抗氧化能力（T-AOC）。测定采用南京建成生物工程研究所试剂盒，按照试剂盒说明操作。

1.4.4 硒含量的测定

利用氢化物－原子荧光光谱法（参照 GB 5009.93—2010）测定饲粮和全蛋液中硒含量。取饲粮样品，混匀，粉碎；于试验第 8 周末，每重复取 2 枚蛋样，称重，去壳，蛋液混匀冻干。精确称取上述准备好的样品 2 g 左右，置于 250 mL 具塞三角瓶，加入 10.0 mL 高氯酸和硝酸的混酸（体积比为 1∶9），几粒玻璃珠，盖上塞子，冷消化过夜。次日于电热板上

加热消化（消化温度≤180 ℃），并及时补加混合酸。当溶液变为清亮无色并伴有白烟出现时，再继续加热至剩余 2 mL 左右，冷却，加入 6 mol/mL 盐酸 5 mL，继续加热至溶液变为清亮白色并伴有白烟出现，冷却，转移至 50 mL 容量瓶定容，混匀备用。取试样消化液转移到 25 mL 容量瓶，加 1 mL 的 10%（质量浓度）的铁氰化钾溶液，用 3 mol/L 的盐酸溶液定容，同时用超纯水、试剂和硒标准参照物（GBW8551）作空白对照和标准样品对照，利用原子荧光光谱仪测定样品硒含量。

1.5 数据处理与公式计算

试验数据采用 SPSS 19.0 进行单因素方差分析（one-way ANOVA），采用 Duncan 氏法进行多重比较，以 $P<0.05$ 作为显著性标准，结果以“平均值±标准差”表示。

2 结果与分析

2.1 饲粮中添加不同硒源对蛋鸡生产性能的影响

由表 3 可知，各加硒组各阶段产蛋率、平均蛋重、平均日采食量、料蛋比、平均日产蛋量与对照组相比差异均不显著（$P>0.05$）。饲粮中添加不同硒源能够一定程度上提高产蛋率、平均蛋重和平均日产蛋量，改善料蛋比，但差异不显著（$P>0.05$）。

表 3 饲粮中添加不同硒源对蛋鸡生产性能的影响

Table 3 Effects of dietary supplementation of different selenium sources on production performance of laying hens

项目 Items	时间 Time/周	组别 Groups					*P* 值
		对照 Control	亚硒酸钠 Sodium selenite	酵母硒 Selenium yeast	蛋氨酸硒 Selenium methionine	纳米硒 Nano-selenium	*P*-value
产蛋率 LR/%	1~4	72.09±1.43	71.02±5.75	70.75±2.84	70.50±6.67	68.88±4.81	0.982
	5~8	85.66±1.05	86.73±3.28	85.42±4.05	84.67±4.84	85.59±3.85	0.919
	1~8	77.75±2.62	78.88±3.94	78.52±3.04	77.58±3.51	77.20±3.56	0.921
平均蛋重 AEW/g	1~4	49.93±0.90	50.84±0.89	51.13±0.95	50.32±0.72	50.70±1.00	0.223
	5~8	56.45±0.95	56.90±0.86	57.16±0.54	56.62±0.86	57.41±0.83	0.271
	1~8	53.19±0.74	53.87±0.86	54.10±0.57	53.47±0.64	54.06±0.86	0.201
平均日采食量 ADFI/g	1~4	98.22±1.98	97.23±3.32	97.36±3.81	95.25±3.10	95.43±4.03	0.501
	5~8	108.11±3.58	110.78±3.52	107.94±3.60	107.69±6.62	109.90±6.79	0.777

	1~8	103.16±2.28	104.01±2.77	102.65±3.39	102.59±6.16	102.67±5.32	0.974
料蛋比 F/E	1~4	2.98±0.32	2.94±0.29	2.96±0.17	3.04±0.32	3.02±0.31	0.967
	5~8	2.23±0.08	2.24±0.09	2.19±0.10	2.25±0.14	2.24±0.22	0.974
	1~8	2.66±0.08	2.59±0.18	2.61±0.15	2.64±0.16	2.63±0.23	0.968
平均日产蛋量 ADEM/g	1~4	34.80±3.72	34.57±2.61	34.12±2.13	34.18±3.35	33.80±2.27	0.979
	5~8	48.21±1.08	49.61±1.96	48.95±2.69	48.09±2.79	49.30±2.32	0.759
	1~8	40.76±1.11	42.09±1.91	41.38±2.16	41.14±1.81	41.55±1.74	0.819

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)，相同或无字母表示差异不显著($P>0.05$)。下表同。

In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference ($P<0.05$), while with the same or no letter superscripts mean no significant difference ($P>0.05$). The same as below.

2.2　饲粮中添加不同硒源对蛋鸡蛋品质的影响

由表 4 可知，各组蛋壳厚度、蛋壳强度、蛋形指数以及蛋白高度差异均不显著（$P>0.05$），与对照组相比，加硒组蛋壳厚度、蛋壳强度略微增加；各组哈氏单位差异不显著（$P>0.05$），均处于 80 以上，状态良好；各组蛋黄颜色差异不显著（$P>0.05$），与对照组组相比，加硒组蛋黄颜色均有加深，其中纳米硒组加深较多；各组蛋黄比例、蛋壳比例、蛋白比例差异均不显著（$P>0.05$），其中加硒组的蛋壳比例略有升高。

表 4　饲粮中添加不同硒源对蛋鸡蛋品质的影响

Table 4　Effects of dietary supplementation of different selenium sources on egg quality of laying hens

项目 Items	组别 Groups					*P* 值 *P*-value
	对照组 Control	亚硒酸钠 Sodium selenite	酵母硒 Selenium yeast	蛋氨酸硒 Selenium methionine	纳米硒 Nano-selenium	
蛋壳厚度 Eggshell thickness/mm	0.36±0.01	0.37±0.01	0.37±0.01	0.37±0.01	0.37±0.01	0.282
蛋壳强度 Eggshell strength/(N/m^2)	40.79±4.31	43.92±3.86	41.13±1.50	41.37±2.19	42.89±2.58	0.367
蛋形指数 Egg shape index	1.35±0.02	1.35±0.01	1.36±0.01	1.35±0.01	1.35±0.01	0.332
哈氏单位 Haugh unit	83.61±3.21	83.81±1.25	80.73±2.85	83.33±2.80	84.00±3.50	0.275
蛋白高度 Albumen height/mm	7.35±0.41	7.14±0.24	7.12±0.61	7.44±0.26	7.33±0.41	0.595
蛋黄颜色 Yolk color	4.49±0.07	4.54±0.22	4.54±0.22	4.52±0.09	4.68±0.14	0.402
蛋黄比例 Yolk percentage/%	23.04±0.30	23.00±0.28	22.97±0.39	22.94±0.33	22.95±0.45	0.989
蛋壳比例 Egg shell percentage/%	11.02±0.27	11.45±0.33	11.43±0.23	11.28±0.21	11.37±0.57	0.374
蛋白比例 Albumen percentage/%	66.29±0.43	65.55±0.59	65.81±0.71	65.82±0.38	65.49±1.03	0.282

2.3 饲粮中添加不同硒源对蛋鸡血浆抗氧化能力的影响

由表 5 可知，与对照组相比，饲粮中添加不同硒源显著提高了血浆 GSH-Px 活性（$P<0.05$），4 周末时，纳米硒组最高，显著高于其他各组（$P<0.05$）；8 周末时，酵母硒组和纳米硒组显著高于其他各组（$P<0.05$），且除酵母硒组外，其余各组均有略微下降。4 周末时，与对照组相比，各加硒组的血浆 T-AOC 均有升高，且酵母硒组、蛋氨酸硒组和纳米硒组显著高于对照组和亚硒酸钠组（$P<0.05$），并以纳米硒组最高；8 周末时，与对照组相比，各加硒组的血浆 T-AOC 均有升高，酵母硒组、蛋氨酸硒组和纳米硒组显著高于对照

组（*P*<0.05），其中纳米硒组最高。各组各阶段血浆 SOD 活性差异均不显著（*P*>0.05），加硒组血浆 SOD 活性高于对照组，8 周末时这种效果更明显，酵母硒组各阶段血浆 SOD 均高于其他各组。各组各阶段血浆 MDA 含量差异不显著（*P*>0.05），其中，加硒组血浆 MDA 含量均低于对照组。结果表明，饲粮中添加不同硒源能提高蛋鸡机体的抗氧化水平，且纳米硒和酵母硒效果更好。

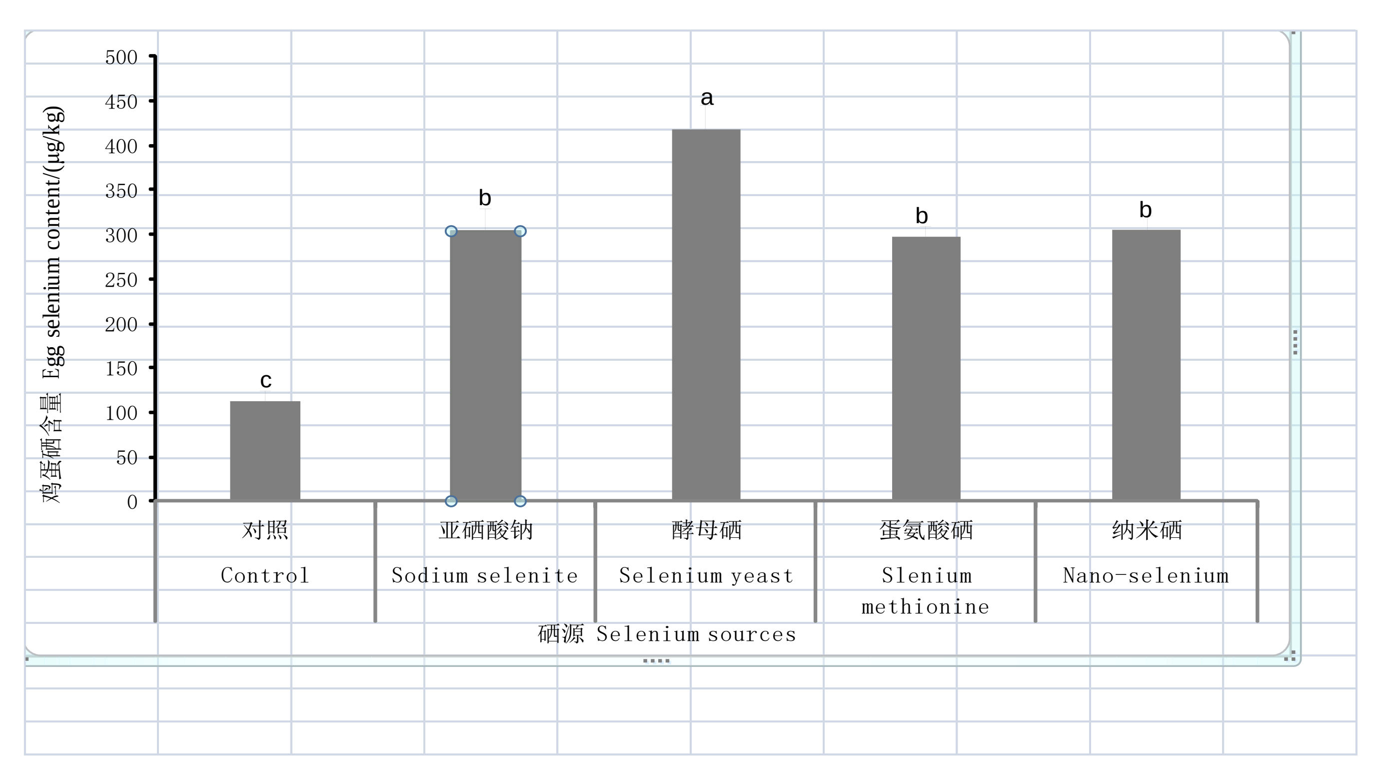
表 5　饲粮中添加不同硒源对蛋鸡血浆抗氧化能力的影响

Table 5　Effects of dietary supplementation of different selenium sources on plasma antioxidant capacity of laying hens

项目 Item	时间 Time/周	组别 Groups 对照组 Control	亚硒酸钠 Sodium selenite	酵母硒 Selenium yeast	蛋氨酸硒 Selenium methionine	纳米硒 Nano-selenium	*P* 值 *P*-value
超氧化物歧化酶	4	171.91±9.28	171.46±22.09	187.89±13.44	175.35±13.46	171.10±12.81	0.277
SOD/(U/mL)	8	157.71±27.56	161.30±36.66	180.67±38.19	174.00±28.95	174.22±13.25	0.491
丙二醛 MDA/	4	8.07±1.26	7.95±0.88	7.29±0.83	6.98±0.59	6.87±0.66	0.137
（nmol/mL）	8	8.20±0.98	7.91±1.19	7.63±1.52	6.78±0.70	7.74±1.38	0.135
谷胱甘肽过氧化物	4	648.59±88.85[d]	3 342.45±193.60[b]	3 297.06±279.71[bc]	2 961.11±290.53[c]	3 811.01±326.35[a]	<0.01
酶 GSH-Px/(U/mL)	8	323.10±89.75[c]	2 696.48±197.03[b]	3 498.01±232.39[a]	2 575.52±90.95[b]	3 401.62±189.49[a]	<0.01
总抗氧化能力	4	3.72±0.24[c]	3.89±0.39[c]	5.08±0.59[ab]	4.77±0.77[b]	5.77±0.75[a]	<0.01
T-AOC/(U/mL)	8	4.15±0.56[d]	4.55±0.94[cd]	5.81±0.94[b]	5.01±0.85[c]	7.16±0.59[a]	<0.01

2.4　饲粮中添加不同硒源对鸡蛋硒含量的影响

由图 1 可知，与对照组相比，各加硒组的鸡蛋硒含量均显著升高（*P*<0.05），亚硒酸钠组、酵母硒组、蛋氨酸硒组和纳米硒组分别比对照组升高了 168.60%、269.30%、163.22%和 169.10%，其中酵母硒组升高最多，显著高于亚硒酸钠组、蛋氨酸硒组和纳米硒组（*P*<0.05）。结果表明，饲粮中添加不同硒源对鸡蛋硒含量影响显著，其中酵母硒的沉积效率最高。



数据柱形标注不同小写字母表示差异显著（P<0.05）。

Value columns with different small letters mean significant difference (P<0.05).

图 1 鸡蛋硒含量

Fig.1 Egg selenium content

3 讨 论

3.1 饲粮中添加不同硒源对蛋鸡生产性能的影响

作为动物和人体的必需微量元素，硒是许多抗氧化酶、脱碘酶和含硒蛋白的重要组成部分，能调节生长、影响代谢、增强免疫力、提高繁殖性能。本研究表明，饲粮中添加 0.30 mg/kg 硒的亚硒酸钠、酵母硒、蛋氨酸硒和纳米硒对试验期产蛋鸡的生产性能无显著影响，与 Delezie 等[5]、Jlali 等[8]、Utterback 等[9]、蔡娟等[4]的研究结果一致。但也有研究认为，饲粮中添加酵母硒能改善蛋鸡的生产性能[10]。蛋鸡的生产性能受其品种、日龄、饲粮中硒含量和硒源的影响，初产期与产蛋后期机体对于营养素的敏感程度不一样。上述试验选用的是 80 周龄换羽鸡，而本试验选取的鸡只正处于初产期到产蛋高峰过渡时期，机体的抗氧化体系、代谢水平、免疫力可能处于最佳状态，鸡只生产性能受硒源及硒水平的影响较小。此外，研究表明，即使外界硒供应不足，鸡只会首先动员体内贮存的硒来维持健康[11]。本试验周期为 8 周，对照组饲喂硒含量为 0.08 mg/kg 的基础饲粮，试验期内对照组蛋鸡未表现出缺硒症状，一方面可能是因为试验期间蛋鸡动员了体内贮存的硒，另一方面也可能是试验周期比较短，Latshaw 等[12]报道饲喂硒含量为 0.03 mg/kg 的基础饲粮 3 个月后才出现产蛋率下降。

3.2 饲粮中添加不同硒源对鸡蛋品质的影响

影响蛋品质的因素较多，如品种、产蛋日龄、营养水平、饲养方式、疾病和保存时间等，其中品种和产蛋日龄是影响蛋品质非常重要的因素。本研究表明，饲粮中添加 0.30 mg/kg 硒的 4 种硒源未见显著影响蛋品质，其蛋白高度、哈氏单位都处于较好状态。有研究表明，饲粮中添加亚硒酸钠和酵母硒对蛋鸡常规蛋品质无显著影响[13]，与本试验结果一致。Pavlović 等[14]研究表明，饲粮中添加亚硒酸钠或酵母硒对蛋壳品质、蛋壳厚度、蛋壳强度和蛋形指数无显著影响，认为其原因可能是：一方面蛋壳膜的分泌和合成会因饲粮中添加了硒产生变化，这种变化对蛋壳品质不利；另一方面硒又可通过提升抗氧化能力来保护蛋壳。可见，通过在饲粮中添加硒生产富硒鸡蛋并不会对鸡蛋品质产生不良影响。

3.3 饲粮中添加不同硒源对蛋鸡血浆抗氧化能力的影响

机体防御体系的抗氧化能力与健康程度密切相关。GSH-Px 是机体内广泛存在的催化过氧化氢分解的酶，是抗氧化防御体系的重要组成部分，它特异的催化还原型谷胱甘肽对过氧化氢的还原反应，起到保护细胞膜结构和功能完整的作用。本研究表明，蛋鸡饲粮中添加 4 种硒源均显著提高了机体的 GSH-Px 活性，这与 Jing 等[15]、曲湘勇等[6]、Wang 等[16]的研究结果一致。硒是 GSH-Px 的重要组成部分，GSH-Px 活性与机体内的硒水平密切相关[17]。因此，GSH-Px 活性升高的具体原因可能是饲粮中添加硒以后增加了机体的硒摄入，提高了血液硒水平[18]，从而引起了血浆 GSH-Px 活性的升高。本研究表明，血浆 SOD 活性以及 MDA 含量不受硒源影响，与潘翠玲等[19]研究结果一致。

T-AOC 是衡量机体抗氧化能力的综合性指标，饲粮中添加酵母硒和亚硒酸钠均能极显著提高血浆 T-AOC[19]。本研究表明，除亚硒酸钠外的 3 种硒源均能显著够提高血浆 T-AOC，亚硒酸钠略微提高了血浆 T-AOC。T-AOC 的升高可能与添加硒以后 GSH-Px 活性升高有关，GSH-Px 不但与 SOD、过氧化氢酶一起，通过去除 O_2^-和 H_2O_2 参与机体抗氧化的第一道防线，并通过还原氢过氧化物参与第二道防线，对机体的抗氧化酶系统意义重大。

本研究表明，不同硒源提高机体抗氧化水平的能力不同，纳米硒和酵母硒效果更好。纳米硒具有高效的吸收方式，较强的吸附能力，并且可以直接清除体内自由基[20]。酵母硒作为有机硒源可更容易进入到体内发挥作用。它们在机体内不同的代谢途径可能是造成抗氧化能力不同的主要原因。

3.4 饲粮中添加不同硒源对鸡蛋硒含量的影响

硒的抗癌[21]、预防小儿哮喘[22]、保护心脑血管系统[23]、提高免疫力[1]等临床效果使得人们对富硒食品越来越热衷。鸡蛋是人类膳食的重要来源之一，且鸡蛋硒含量可调控性较强

[24]，使得富硒鸡蛋成为补硒的重要媒介，因此寻找一种能在鸡蛋中高效沉积的硒源具有重要意义。

本研究表明，饲粮中添加 0.30 mg/kg 硒的 4 种硒源均能显著提高鸡蛋中硒的沉积量，与蔡娟等[4]和 Delezie 等[5]的研究报道一致。并且酵母硒组鸡蛋硒含量显著高于亚硒酸钠组、蛋氨酸硒组和纳米硒组。酵母硒在鸡蛋中的沉积效率高于亚硒酸钠，与前人研究结果一致[4,13,18,25]，说明酵母硒作为有机硒能够比亚硒酸钠更快更多地进入到机体内。纳米硒在蛋鸡上的应用比较少，与其他硒源应用的比较尚未见报道。曲湘勇等[6]研究表明纳米硒在鹌鹑蛋中的沉积效果优于酵母硒。本研究表明，酵母硒在产蛋前期的海兰灰蛋鸡的鸡蛋中沉积效率高于纳米硒，这可能是与不同家禽种类对矿物质的沉积能力不同有关。尽管前人研究表明蛋氨酸硒是酵母硒中有机硒[26]的主要形式，但本研究中，酵母硒在鸡蛋中沉积量显著多于蛋氨酸硒。Richie 等[27]研究表明，酵母硒在减少体内氧化应激水平方面的效果优于蛋氨酸硒，且与蛋氨酸硒相比酵母硒能够更多的沉积到靶器官，具体原因尚不明确。

Sevcikova 等[28]给山羊在怀孕和哺乳期间饲喂不同形式硒源，发现酵母硒较其他有机硒在提高羔羊断奶时组织硒含量方面更为有效。但也有研究用老龄比格犬 7 个月超剂量的饲喂试验表明，酵母硒和蛋氨酸硒对前列腺组织硒含量及其他指标方面无差异，但先前却有酵母硒而不是蛋氨酸硒降低前列腺癌的报道[29]。可见，关于不同硒源对组织硒沉积的影响尚需要在开展更多的研究才能定论。

4 结 论

① 饲粮中添加 0.30 mg/kg 来自亚硒酸钠、酵母硒、蛋氨酸硒和纳米硒的硒未见显著影响 18～26 周龄海兰灰蛋鸡的生产性能和蛋品质。

② 4 种硒源均能一定程度上提高机体的抗氧化水平，其中纳米硒和酵母硒效果更好。

③ 4 种硒源中，酵母硒在鸡蛋中沉积效率最高。

参考文献：

[1] DUNTAS L H,BENVENGA S.Selenium:an element for life[J].Endocrine,2015,48(3):756–775.

[2] KÖHRLE J.Pathophysiological relevance of selenium[J].Journal of Endocrinological Investigation,2013,36(10S):1–7.

[3] LI F,LUTZ P B,PEPELYAYEVA Y,et al.Redox active motifs in selenoproteins[J].Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America,2014,111(19):6976–6981.

[4] 蔡娟,卢建,施寿荣,等.酵母硒和亚硒酸钠对蛋鸡生产性能、蛋品质和蛋硒含量的影响[J].动物营养学报,2014,26(12):3793–3798.

[5] DELEZIE E,ROVERS M,VAN DER AA A,et al.Comparing responses to different selenium sources and dosages in laying hens[J].Poultry Science,2014,93(12):3083–3090.

[6] 曲湘勇,蔡超,何俊,等.酵母硒和纳米硒对鹌鹑产蛋后期生产性能、蛋品质、蛋中硒含量及血清抗氧化指标的影响[J].动物营养学报,2014,26(3):732–738.

[7] 胡华锋,黄炎坤,介晓磊,等.3 种硒源对蛋鸡生产性能、蛋硒含量及转化率的影响[J].动物营养学报,2013,25(7):1603–1609.

[8] JLALI M,BRIENS M,ROUFFINEAU F,et al.Effect of 2-hydroxy-4-methylselenobutanoic acid as a dietary selenium supplement to improve the selenium concentration of table eggs[J].Journal of Animal Science,2013,91(4):1745–1752.

[9] UTTERBACK P L,PARSONS C M,YOON I,et al.Effect of supplementing selenium yeast in diets of laying hens on egg selenium content[J].Poultry Science,2005,84(12):1900–1901.

[10] GJORGOVSKA N,KIRIL F,VESNA L,et al.The effect of different levels of selenium in feed on egg production,egg quality and selenium content in yolk[J].Lucrări Ştiinţifice - Universitatea de Ştiinţe Agricole şi Medicină Veterinară,Seria Zootehnie,2012,57:270–274.

[11] OLIVEIRA T F B,RIVER D F R,MESQUITA F R,et al.Effect of different sources and levels of selenium on performance,meat quality,and tissue characteristics of broilers[J].The Journal of Applied Poultry Research,2014,23(1):15–22.

[12] LATSHAW J D,OSMAN M.A selenium and vitamin E responsive condition in the laying hen[J].Poultry Science,1974,53(5):1704–1708.

[13] 卢建,王克华,曲亮,等.酵母硒和亚硒酸钠对蛋鸡蛋硒含量动态变化的影响[J].动物营养学报,2014,26(12):3740–3746.

[14] PAVLOVIĆ Z,MILETIĆ I,JOKIĆ Ž,et al.The effect of level and source of dietary selenium supplementation on eggshell quality[J].Biological Trace Element Research,2010,133(2):197–202.

[15] JING C L,DONG X F,WANG Z M,et al.Comparative study of *DL*-selenomethionine vs sodium selenite and seleno-yeast on antioxidant activity and selenium status in laying hens[J].Poultry Science,2015,94(5):965–975.

[16] WANG Y B.Differential effects of sodium selenite and nano-Se on growth

performance,tissue Se distribution,and glutathione peroxidase activity of avian broiler[J].Biological Trace Element Research,2009,128(2):184–190.

[17] ARTHUR J R.The glutathione peroxidases[J].Cellular and Molecular Life Sciences CMLS,2000,57(13/14):1825–1835.

[18] PAN C L,HUANG K H,ZHAO Y X,et al.Effect of selenium source and level in hen's diet on tissue selenium deposition and egg selenium concentrations[J].Journal of Agricultural and Food Chemistry,2007,55(3):1027–1032.

[19] 潘翠玲,黄克和,赵玉鑫,等.不同硒源对蛋鸡血硒含量及抗氧化能力的影响[J].南京农业大学学报,2008,31(2):91–96.

[20] HUANG B,ZHANG J S,HOU J W,et al.Free radical scavenging efficiency of Nano-Se *in vitro*[J].Free Radical Biology and Medicine,2003,35(7):805–813.

[21] FERNANDES A P,GANDIN V.Selenium compounds as therapeutic agents in cancer[J].Biochimica et Biophysica Acta (BBA):General Subjects,2015,1850(8):1642–1660.

[22] SHAHEEN S O,RUTTERFORD C M,LEWIS S J,et al.Maternal selenium status in pregnancy,offspring glutathione peroxidase 4 genotype,and childhood asthma[J].Journal of Allergy and Clinical Immunology,2015,135(4):1083–1085.

[23] ROSE A H,HOFFMANN P R.Selenoproteins and cardiovascular stress[J].Thrombosis and Haemostasis,2014,113(3):494–504.

[24] FISININ V I,PAPAZYAN T T,SURAI P F.Producing specialist poultry products to meet human nutrition requirements:selenium enriched eggs[J].World’s Poultry Science Journal,2008,64(1):85–98.

[25] ČOBANOVÁ K,PETROVIČ V,MELLEN M,et al.Effects of dietary form of selenium on its distribution in eggs[J].Biological Trace Element Research,2011,144(1/2/3):736–746.

[26] SCHRAUZER G N.Selenium yeast:composition,quality,analysis,and safety[J].Pure and Applied Chemistry,2006,78(1):105–109.

[27] RICHIE J P,DAS A,CALCAGNOTTO A M,et al.Comparative effects of two different forms of selenium on oxidative stress biomarkers in healthy men:a randomized clinical trial[J].Cancer Prevention Research,2014,7(8):796–804.

[28] SEVCIKOVA L,PECHOVA A,PAVLATA L,et al.The effect of various forms of selenium supplied to pregnant goats on the levels of selenium in the body of their kids at the time of

weaning[J].Biological Trace Element Research,2011,143(2):882–892.
[29] WATERS D J,SHEN S,KENGERI S S,et al.Prostatic response to supranutritional selenium supplementation:comparison of the target tissue potency of selenomethionine vs selenium-yeast on markers of prostatic homeostasis[J].Nutrients,2012,4(11):1650–1663.

Effects of Dietary Supplementation of Different Selenium Sources on Production Performance and Antioxidant Activity of Laying Hens

SUN Qingyan WU Shugeng ZHANG Haijun YUE Hongyuan WANG Jing QI Guanghai*
(*Key Laboratory of Feed Biotechnology of Ministry of Agricultural, National Engineering Research Center of Biological Feed, Feed Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Science, Beijing* 100081, *China*)

Abstract: This experiment was conducted to compared the effects of selenium supplementation as forms of sodium selenite (SS), selenium yeast (SY), selenium methionine (SM) or nano-selenium (NS) on laying performance, egg quality, plasma antioxidant activity and egg selenium content in laying hens, with the aim to provide theoretical guidance for the application of selenium for laying hen industry. Five hundred and forty healthy Hy-Line Grey laying hens of 18-week-old were randomly allotted into 5 groups with 6 replicates of 18 hens each. The control group was fed a basal diet without adding exogenous selenium source, and the other four groups were fed the basal diets supplemented with SS, SY, SM or NS containing 0.30 mg/kg selenium, respectively. The analyzed values of selenium content in diets were 0.08, 0.37, 0.38, 0.34 and 0.41 mg/kg, respectively. The feed trail lasted for eight weeks followed an adaptation period of one week. The results showed as follows: 1) there were no significant differences on laying performance and egg quality among different selenium treatments (P>0.05). 2) Compared with the control group, dietary addition of 0.30 mg/kg selenium increased the glutathione peroxidase (GSH-Px) activity significantly （P<0.05）. The GSH-Px activity in NS group was the highest at the end of 4th week, and got higher in SY group and NS group at the end of 8th week. Compared with the control group, total antioxidant capacity (T-AOC) in other groups were higher, and T-AOC in NS group was significantly higher than others at the end of 4th and 8th week (P<0.05). There were no significant differences on the superoxide dismutase activity and malondialdehyde content among all groups (P>0.05). 3） Compared with the control group, the addition of four selenium sources in basal diet could significantly increase egg selenium content (P<0.05), and the egg selenium content in SY

group was elevated most than any of other three groups (P<0.05). In conclusion, production performance and egg quality of laying hens are not affected by selenium sources, GSH-Px activity and T-AOC in plasma of laying hens can be markedly improved by addition of any selenium source especially with SY or NS, and the egg selenium content can be deposited more efficiently by SY supplementation than other sources of selenium like SS, SM or NS.

Key words: selenium sources; laying hens; antioxidant activity; egg selenium content

---

*Corresponding author, professor, E-mail: guanghai_qi @163.com (责任编辑　田艳明)